

## 明 細 書

## 放射線断層撮影装置

## 技術分野

- 5 本発明は、放射線断層撮影装置に係り、特に、被写体中における放射線の線質変化や放射線検出器の入出力特性の非線形性に起因して発生する、放射線断層像中のアーチファクトを軽減するための技術に関する。

## 10 背景技術

- 放射線断層撮影装置においては、再構成された被写体の断層画像（以下、再構成画像とする）中にアーチファクトが発生する場合がある。このようなアーチファクトの主なものとして、再構成画像中に環状の模様となって現れるリングアーチファクトや、高放射線吸収物質
- 15 同士の間に黒い帯状の模様として現れるダークバンドアーチファクト等がある。リングアーチファクト発生の主要因としては、放射線検出器の感度が画素毎にばらつく点や、放射線検出器の入出力特性が理想的でなく非線形性を有する点が挙げられる。また、ダークバンドアーチファクト発生の主要因としては、被写体中において放射線の線質
- 20 が変化する（ビームハードニング効果）点が挙げられる。これらアーチファクトの低減のために、これまで様々な方法が提案されている。

- 最も一般的なアーチファクト低減法としては、エアキャリブレーション法がある。エアキャリブレーション法では、予め被写体を配置せずに撮影したエア画像が準備される。エア画像の信号強度分布は、検
- 25 出器に入射する放射線の強度分布と検出器感度分布の積に相当する。従って、検出器の各画素において撮影画像の信号をエア画像の信号で

除算することで、上記放射線強度分布および検出器感度のばらつきが補正できる。

アーチファクト低減法の別の例として、水補正法が提案されている（例えば、特開平 7-171145 号公報参照）。水補正法は、エア  
5 キャリブレーション法を拡張した方法であり、円筒または楕円筒状の形状を有する水筒ファントムを撮影して得た水画像を、エア画像の代わりに使用する。上記水筒ファントムと被写体の放射線吸収量が近い場合、エアキャリブレーションによる上記補正効果に加えて、検出器の非線形入出力特性に起因するリングアーチファクトや、ビームハー  
10 ドニングに起因するダークバンドアーチファクトを除去できる。

アーチファクト低減法のさらに別の例として、ファントムキャリブレーション法が提案されている（例えば、特公昭 61-54412 号公報参照）。ファントムキャリブレーション法は、予め作成した変換関数に基づいて被写体の撮影データを補正する方法である。上記変換  
15 関数は、撮影画像の実測値をその理論値に変換するための多項式であり、実測値と理論値との関係は予め較正用ファントムを用いて導出される。様々な直径を有する較正ファントムに対して上記実測値と理論値との関係を求めることで、検出器ダイナミックレンジの広い範囲にわたって撮影画像の信号強度が較正できる。

20

## 発明の開示

エアキャリブレーション法は、放射線検出器に入射する放射線の強度分布や放射線検出器の感度ばらつきを補正するため、リングアーチファクトが大幅に低減される。しかし、放射線検出器の非線形入出力特性を補正できないため、リングアーチファクトを完全に除去できないという課題を有する。また、ビームハー  
25 ドニングに起因するダー

クバンドアーチファクトを除去できない問題がある。

水補正法は、上記エアキャリブレーション法における補正効果に加えて、検出器の非線形入出力特性に起因するリングアーチファクトやダークバンドアーチファクトを除去できるメリットがある。しかし、  
5 水筒ファントムと被写体の放射線吸収量を完全に一致できないため、上記除去精度が低いという課題を有する。

ファントムキャリブレーション法は、検出器ダイナミックレンジの広い範囲にわたって撮影画像の信号強度を較正できる。このため水補正法に比べて、検出器の非線形入出力特性に起因するリングアーチファクトやダークバンドアーチファクトを精度よく除去できるメリットがある。ただし、上記多項式の近似精度を向上するためには実測値のサンプル数を増加する必要があるが、実際にはサンプル数の増加は困難であり、高々4、5点のサンプルしか使用されていないのが現状である。このため多項式近似の精度が低く、ファントムキャリブレーション後も再構成画像にアーチファクトが残存するという課題を有していた。  
10  
15

サンプル数の増加が困難である理由は、実測データの取得に手間がかかる点にある。例えば、上記従来例（特許文献2）に示される頭部用較正ファントム（断層面方向に円形の形状を有する）の撮影においては、1つのサイズの較正用ファントムに対して得られる実測データは1サンプルにすぎない。また、同従来例に示される胸部用較正ファントム（断層面方向に非円形の形状を有する）の撮影においては、1つのサイズの較正用ファントムに対して得られる実測データは2サンプルにすぎない（胸部用較正ファントムの長軸方向および短軸方向から撮影）。従って、多数のサンプルを取得するためには、サイズの異なる多数の較正用ファントムに対して実測データを取得する必要  
20  
25

があり、手間がかかるという課題を有していた。

また、上記実測データの取得においては、校正用ファントムの中心位置を撮影系の回転中心位置に精度よく合わせる必要があり、校正用ファントムの配置に手間がかかるという課題を有していた。さらに、

- 5 従来のファントムキャリブレーション法では、検出器の画素位置が周辺部に近づくにつれて、上記サンプル点数が減少するという課題を有していた。

- 本発明の目的は、放射線断層撮影装置において、再構成画像中に発生するアーチファクトを高い精度で低減し、再構成画像の画質を向上  
10 できる放射線断層撮影技術を提供することにある。

本発明の目的および新規な特徴の詳細は、本明細書の記述および添付図面によって明らかになるであろう。

上記目的を達成するために、本発明の放射線断層撮影装置は、次に示すような特徴を有する。以下、本発明の代表的な構成例を述べる。

- 15 (1) 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記  
20 被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の回転軸に垂直な断面が前記回転軸に直交する2方向でそれぞれ異なるサイズを有する少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前  
25 記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記

実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする。

（２）前記（１）の放射線断層撮影装置において、前記少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略楕円形であることを特徴とする。

（３）前記（１）又は（２）の放射線断層撮影装置において、前記複数のファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略円形であり、かつ、前記円形の中心が前記回転軸と異なる位置に配置されていることを特徴とする。

（４）被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と異なる位置に配置されている少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した３枚以上の透過像の実測画像を格納する第１の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第２の格納手段と、前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする。

（５）前記（４）の放射線断層撮影装置において、前記複数のファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略楕円形であることを特徴とする。

(6) 前記(4)の放射線断層撮影装置において、前記複数のファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と略同じ位置に配置されていることを特徴とする。

- 5 (7) 前記(1)又は(4)の放射線断層撮影装置において、前記実測画像より再構成された前記ファントムの断層像に基づいて、前記ファントムの断層面の中心位置と前記断層面に平行な方向での傾きを算出するファントム位置算出手段を有し、前記生成手段は、前記中心位置と前記傾きに基づいて、前記計算画像を作成する時の前記放射  
10 線の投影方向を決定することを特徴とする。

(8) 前記(7)の放射線断層撮影装置において、前記ファントム位置算出手段は、前記ファントムの前記断層像の信号強度分布の重心位置に基づいて、前記ファントムの断層面の中心位置を算出することを特徴とする。

- 15 (9) 前記(7)の放射線断層撮影装置において、前記ファントム位置算出手段は、前記ファントムの断層像の信号強度分布の1次近似に基づいて、前記ファントムの断層面に平行な方向での傾きを算出することを特徴とする。

- (10) 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生  
20 手段に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影  
25 系の回転軸に垂直な断面が前記回転軸に直交する2方向でそれぞれ異なるサイズを有する少なくとも一つのファントムを含む複数のフ

- ファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実測画像の信号強度と前記計算画像の信号強度との関係を近似関数で近似して、前記近似関数のパラメータ値を導出するパラメータ値導出手段と、前記パラメータ値を格納する第3の格納手段と、前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする。
- 5
- 10 (11) 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と異なる位置に配置されている少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の
- 15
- 20 格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実測画像の信号強度と前記計算画像の信号強度との関係を近似関数で近似して、前記近似関数のパラメータ値を導出するパラメータ値導出手段と、前記パラメータ値を格納する第3の格納手段と、
- 25
- 前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする。

これにより、本発明は、以下のような利点を有する。

(a) 従来のファントムキャリブレーション法において高々 4、5 点であった実測データのサンプル数を、6 個以上～数千個程度に増加できるため、ファントムキャリブレーション法における補正精度を高めて再構成画像の画質を向上できる。

(b) ファントムによる放射線減衰量を撮影方向にダイナミックに変化できるため、広範囲のダイナミックレンジを有する実測データを取得できる。

(c) 断層面方向に円形の形状を有する一般的なファントムに対してもファントムによる放射線減衰量を撮影方向にダイナミックに変化できるため、広範囲のダイナミックレンジを有する実測データを取得できる。

(d) ファントムを撮影系に対して精度良く配置する必要がなくなるため、配置が容易となり、実測データ取得における作業効率を向上できる。

(e) ファントムの断層面方向の中心位置を簡便に、精度よく抽出できるため、ファントムキャリブレーション法による較正精度を向上できる。

(f) ファントムが断層方向に非円形の断面を有する場合でも、ファントムの断層面に平行な方向での傾きを簡便に、精度よく抽出できるため、ファントムキャリブレーション法による較正精度を向上できる。

(g) 被写体の撮影時に得られる任意の透過像の信号強度に対して、ファントムキャリブレーション法による信号強度の補正が可能となる。



## 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の正面模式図、  
図 2 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の前処理手段を  
説明するための図、図 3 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影  
5 装置の前処理手段におけるデータ配列の構造を説明するための図、図  
4 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の補正テーブル作  
成手段を説明するための図、図 5 は、本発明の実施例 1 に係る放射線  
断層撮影装置の補正テーブル作成方法を説明するための図、図 6 は、  
本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の信号強度補正手段を  
10 説明するための図、図 7 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影  
装置のシミュレーション画像発生手段における演算方法を説明する  
ための図、図 8 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の較  
正用ファントム位置検出手段を説明するための図、図 9 は、本発明の  
実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の複数の楕円ファントムの配置  
15 方法を説明するための図、図 10 は、本発明の実施例 2 に係る放射線  
断層撮影装置のシミュレーション画像発生手段における演算方法を  
説明するための図、図 11 は、本発明の実施例 2 に係る放射線断層撮  
影装置の複数の円筒ファントムの配置方法を説明するための図、図 1  
2 は、本発明の実施例に係る放射線断層撮影装置の他の校正用ファン  
20 トムの例を説明するための図、図 13 は、本発明の実施例 1 に係る放  
射線断層撮影装置による画質改善効果の例を説明するための図であ  
る。

## 発明を実施するための最良の形態

25 以下、本発明の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。

### (実施例 1)

図 1 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の正面模式図である。本実施例 1 に係る放射線断層撮影装置は、X 線管 1、X 線検出器 2、回転板 4、駆動モーター 5、駆動ベルト 6、ガントリー 7、撮影制御手段 100、前処理手段 111、実測画像用メモリ 101、  
5 補正テーブル作成手段 102、シミュレーション画像用メモリ 103、信号強度補正手段 104、補正テーブル用メモリ 105、シミュレーション画像発生手段 106、画像再構成手段 107、較正用ファントム位置検出手段 108、画像表示手段 109、操作卓 110 等から構成される。

10 以下では、X 線管 1 および X 線検出器 2 を合わせて撮影系と呼ぶ。撮影系は回転板 4 に固定されている。駆動モーター 5 は駆動ベルト 6 を介して回転板 4 および撮影系全体を回転する。撮影系は上記回転中に被写体 3 に対して全周方向から X 線を照射し、その X 線透過像を撮影する。以下では、回転板 4 の回転軸（図示してない）を Z 軸とする。  
15 また、回転板 4 の回転中心 O を原点とする水平方向および垂直方向の座標軸をそれぞれ X 軸、Y 軸と定める。X 軸、Y 軸および Z 軸によって規定される X Y Z 座標系は直交座標系である。

図 1 において、X 線管 1 の X 線発生点 S と回転中心 O との距離の代表例は 690 mm である。また、回転中心 O と X 線検出器 2 の X 線入  
20 力面との距離の代表例は 380 mm である。回転板 4 の 1 回転の所要時間の代表例は 0.5 秒である。

X 線検出器 2 にはセラミックシンチレータおよびフォトダイオード等から構成される公知のマルチスライス型 X 線検出器が使用される。X 線検出器 2 は多数の検出素子（図示してない）から構成されており、  
25 その素子数の代表例は X Y 平面方向（以下、チャンネル方向とする）に 896 個、Z 軸方向（以下、スライス方向とする）に 32 個である。

各検出素子はX線発生点Sから略等距離の円弧上に配置されており、その入力面サイズの代表例はチャネル方向およびスライス方向に共に1mmである。撮影系の1回転における撮影回数の代表例は900回であり、回転板4の0.4度の回転毎に1回の撮影が行われる。

- 5      次に、本実施例1に係る放射線断層撮影装置の動作を説明する。本放射線断層撮影装置には、本撮影モードおよびキャリブレーション撮影モードの2種類の撮影モードが用意されている。本撮影モードおよびキャリブレーション撮影モードの選択は、検者が操作卓110を通して指示する。なお、図1において、破線の矢印は本撮影モードにお
- 10    けるデータ処理の流れを示す。また実線の矢印はキャリブレーション撮影モードにおけるデータ処理の流れを示す。

- 以下では、まず本撮影モードにおける本放射線断層撮影装置の動作について説明する。まず、検者が操作卓110を通して撮影開始を指示すると、撮影制御手段100は駆動モーター5を介して回転板4の
- 15    回転を開始する。回転板4の回転が定速状態に入った時点で、撮影制御手段100はX線管1のX線照射タイミングおよびX線検出器2の撮影タイミングを指示し、被写体3の全周方向からの撮影データを取得する。次に前処理手段111は、上記撮影データに対して、後述する方法を用いてオフセット処理、エアキャリブレーション処理、対
- 20    数変換処理から成る前処理を行い、前処理後の撮影データ（以下、実測画像とする）を実測画像用メモリ101に記録する。次に、信号強度補正手段104は、実測画像用メモリ101に記録された実測画像を読み出して、後述する方法を用いて上記実測画像の信号強度を補正する。なお、信号強度補正手段104は、補正テーブル用メモリ10
- 25    5に予め記録されている補正テーブルを参照し、上記補正テーブルに基づいて所定の補正を行う。上記補正テーブルの詳細については後述

する。次に画像再構成手段 107 は、前記信号強度補正手段 104 の出力値に基づき、公知の技術を用いて上記被写体 3 の放射線断層像を再構成する。再構成された放射線断層像は最後に画像表示手段 109 によって表示される。

- 5      次に、キャリブレーション撮影モードにおける本放射線断層撮影装置の動作について説明する。キャリブレーション撮影モードにおいては、被写体 3 として後述する校正用ファントムが配置される。まず本撮影モードの場合と同様の手順で校正用ファントムの撮影および撮影データの前処理が行われ、前処理後の撮影データ（以下、校正用実測画像とする）が実測画像用メモリ 101 に記録される。次に上記校正用実測画像は信号強度補正手段 104 によって読み出される。ここで信号強度補正手段 104 は、補正テーブルが既に補正テーブル用メモリ 105 に記録されているかどうかを判別し、存在する場合には上記補正テーブルを参照して上記校正用実測画像への信号強度補正を行う。また、補正テーブルが存在しない場合には上記校正用実測画像への信号強度補正を省略する。次に、画像再構成手段 107 は、前記信号強度補正手段 104 の出力値に基づき、公知の技術を用いて上記校正用ファントムの放射線断層像を再構成する。次に、校正用ファントム位置検出手段 108 は、上記放射線断層像に基づき、後述する方法を用いて上記校正用ファントムの X Y 平面上における位置を算出する。次に、シミュレーション画像発生手段 106 は、上記算出された校正用ファントムの位置に基づき、後述する方法を用いて上記校正用ファントムの撮影データの理論値（以下、シミュレーション画像もしくは計算画像とする）を計算し、計算結果をシミュレーション画像用メモリ 103 に記録する。次に補正テーブル作成手段 102 は、実測画像用メモリ 101 に記録された上記校正用実測画像およびシミ

ュレーション画像用メモリ 103 に記録された上記シミュレーション画像に基づき、後述する方法を用いて実測画像の信号強度を理論値に変換するための補正テーブルデータを作成し、作成結果を補正テーブル用メモリ 105 に記録する。なお、既に古い補正テーブルデータ  
5 が補正テーブル用メモリ 105 に記録されている場合は、上記古い補正テーブルデータを新しい補正テーブルデータで上書きする。

図 2 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の前処理手段 111 を説明するための図である。また、図 3 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置の前処理手段 111 におけるデータ配列  
10 の構造を説明するための図である。以下、図 2 および図 3 を用いて前処理手段 111 における処理の手順について説明する。

X線検出器 2 は、マルチスライス型検出器であり、上述のようにチャンネル方向およびスライス方向にそれぞれ 896、32 個の検出素子を有する。以下では、上記チャンネル方向およびスライス方向の検出素子  
15 数を、それぞれ一般的に  $N$ 、 $M$  と表す。また上述のように、撮影においては撮影系の 1 回転の回転中に 900 回の撮影が行われる。以下では、上記撮影回数を一般的に  $K$  と表す。さらに以下では、 $k$  番目の撮影 ( $k = 1 \sim K$ ) において、X線検出器 2 の  $n$  チャンネル、 $m$  スライス目の検出素子 ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ ) で得られた検出信号を  
20  $I_{nm}(k)$  と表す。

前処理手段 111 には、オフセット画像作成処理、エア画像作成処理、およびエアキャリブレーション処理の 3 種類の処理が用意されている。このうちオフセット画像作成処理およびエア画像作成処理は、被写体 3 の撮影に先立って行われるオフセット画像撮影およびエア画像撮影時において選択される。またエアキャリブレーション処理は、  
25 被写体 3 の撮影時において選択される。以下、上記 3 種類の処理手順

について順に説明する。

オフセット画像作成処理は、オフセット画像撮影（X線管 1 による X 線照射を行わずに撮影）によって得られた K 枚のオフセット画像に対して、これらの加算平均画像を作成する処理である。上記オフセット画像は、撮影が行われる度にフレームメモリ 200 に順次上書きされる。フレームメモリ 200 は、図 3（A）に示されるようなデータ構造を有し、X 線検出器 2 の 1 フレーム分に相当する  $N \times M$  個の撮影データを保存する。フレームメモリ 200 にオフセット画像が記録されると同時に、加算平均手段 201 は上記オフセット画像を順次読出して（数 1）で表される加算平均演算を行う。

$$b_{nm} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K I_{nm}(k) \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M) \quad \text{..... (数 1)}$$

加算平均手段 201 によって得られた平均オフセット画像は、オフセット画像用メモリ 204 に記録される。オフセット画像用メモリ 204 は、図 3（B）に示されるようなデータ構造を有し、X 線検出器 2 の 1 フレーム分に相当する  $N \times M$  個の平均オフセット画像データを保存する。

エア画像作成処理は、エア画像撮影（被写体 3 を配置しない状態で X 線管 1 による X 線照射行いながら撮影）、によって得られた K 枚のエア画像に対して、これらの加算平均画像を作成する処理である。上記エア画像は、撮影が行われる度にフレームメモリ 200 に順次上書きされる。フレームメモリ 200 にエア画像が記録されると同時に、加算平均手段 201 は上記エア画像を順次読み出して、（数 2）で表される加算平均演算を行う。

$$A'_{nm} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K I_{nm}(k) \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M) \quad \text{..... (数 2)}$$

加算平均手段 201 によって平均エア画像が計算されると同時に、オフセット補正手段 202 は上記平均エア画像を読み出して、(数 3) で表されるオフセット補正処理を行う。

$$A_{nm} = A'_{nm} - b_{nm} \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M) \quad \dots\dots\dots (数 3)$$

- 5      なお、上記演算においては、オフセット画像用メモリ 204 に記録されている平均オフセット画像が参照される。オフセット補正手段 202 によって得られたオフセット補正後の平均エア画像は、エア画像用メモリ 205 に記録される。エア画像用メモリ 205 は、図 3 (C) に示されるようなデータ構造を有し、X線検出器 2 の 1 フレーム分に  
10    相当する  $N \times M$  個の平均エア画像データを保存する。

- エアキャリブレーション処理は、被写体 3 の撮影画像に対してエアキャリブレーションを行い、X線管 1 より放射される X 線エネルギーの空間分布や、X線検出器 2 の検出感度のむらを補正する処理である。上記撮影画像は、撮影が行われる度にフレームメモリ 200 に順次上  
15    書きされる。フレームメモリ 200 に撮影画像が記録されると同時に、オフセット補正手段 202 は上記撮影画像をフレームメモリ 200 より順次読み出して、(数 4) で表されるオフセット補正処理を行う。

$$I'_{nm}(k) = I_{nm}(k) - b_{nm} \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M, k=1 \sim K) \quad \dots\dots\dots (数 4)$$

- 20    なお、オフセット補正手段 202 は、加算平均手段 201 を介さずに直接フレームメモリ 200 より撮影データを読み出す。また上記演算においては、オフセット画像用メモリ 204 に記録されている平均オフセット画像が参照される。オフセット補正手段 202 による撮影画像のオフセット補正が終了すると同時に、エアキャリブレーション手段 203 は上記オフセット補正後の撮影画像を読み出して、(数

5) で表されるエアキャリブレーション処理を行う。

$$J_{nm}(k) = \ln \frac{A_{nm}}{I'_{nm}(k)} \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M, k=1 \sim K) \quad \dots\dots\dots \text{(数5)}$$

なお、上記演算においては、エア画像用メモリ205に記録されている平均エア画像が参照される。エアキャリブレーション手段203  
5 によって得られたエアキャリブレーション後の撮影画像は、実測画像用メモリ101に記録される。エアキャリブレーション処理における上記一連の処理は、フレームメモリ200に撮影画像が記録される度にK回繰り返して行われる。実測画像用メモリ101は、図3(D)に示されるようなデータ構造を有し、X線検出器2のKフレーム分に  
10 相当するN×M×K個の撮影画像データを保存する。

図4は、本発明の実施例1に係る放射線断層撮影装置の補正テーブル作成手段102を説明するための図である。また、図5は、本発明の実施例1に係る放射線断層撮影装置の補正テーブル作成方法を説明するための図である。以下、図4および5を用いて補正テーブル作成手段102における処理の手順について説明する。  
15

既に説明したように、補正テーブル作成手段102はキャリブレーション撮影モードにおいて使用される。キャリブレーション撮影モードにおいては、被写体3として後述する較正用ファントムが配置され、上記較正用ファントムの撮影データが取得される。上記撮影データは  
20 前処理手段111によってエアキャリブレーション処理を行った後に、実測画像用メモリ101に記録される。実測画像用メモリ101およびシミュレーション画像用メモリ103に記録されるデータは同一のデータ構造を有している。実測画像用メモリ101にはエアキャリブレーション後の全撮影データ(実測画像) $J_{nm}(k)$ ( $n=1 \sim N$ 、  
25  $m=1 \sim M$ 、 $k=1 \sim K$ )が記録される。一方シミュレーション画像



用メモリには、シミュレーション画像発生手段 106 によって計算された上記撮影データの理論値（シミュレーション画像もしくは計算画像） $J'_{nm}(k)$ （ $n=1\sim N$ 、 $m=1\sim M$ 、 $k=1\sim K$ ）が記録される。

なお、上記シミュレーション画像 $J'_{nm}(k)$ の計算方法については後述す

5 る。上記実測画像とシミュレーション画像の各データは理想的には一致するはずであるが、実際には一致しない。これはX線検出器2の入出力特性が非線形性を有していること、X線管1から放射されるX線のエネルギーがスペクトル分布を有しており、被写体中にてX線の線質が変化してしまうこと（ビームハードニング効果）等の原因による。

10 このような実測画像データと理論値との非線形な関係は、再構成される放射線断層像中においてリングアーチファクトやダークバシドアーチファクトの発生原因となり得るため、補正によって線形に戻す必要がある。このため、補正テーブル作成手段102は上記非線形性を補正するための補正テーブルを作成する。

15 実測画像 $J_{nm}(k)$ とシミュレーション画像 $J'_{nm}(k)$ の関係は、多項式等の関数で近似できる。図5には、上記多項式近似の例が示してある。多項式近似では、まず実測画像 $J_{nm}(k)$ の値を横軸、シミュレーション画像 $J'_{nm}(k)$ の値を縦軸とする。全ての $k=1\sim K$ についてグラフ上にプロットされる。次に、  
20 上記プロットが（数6）に示される多項式関数によって近似される。

$$J'_{nm}(k) = a_{nm}(L)J_{nm}^L + a_{nm}(L-1)J_{nm}^{L-1} + \dots + a_{nm}(1)J_{nm} \quad (n=1\sim N, m=1\sim M) \quad \dots \text{ (数6)}$$

なお、上記近似には最小2乗法等の公知の技術が用いられる。上記多項式関数の最大次数Lは予め設定された所定の値が用いられる。ただし、最大次数Lが1の場合は上記多項式関数が線形関数となるため、  
25 実測画像データと理論値との非線形な関係を表すことができない。従

って、 $L$ は2以上とする必要があるが、上記非線形成分を精度良く近似するためには、 $L$ は3以上とするのが望ましい。 $L$ が3の場合、数6より上記多項式は3つの係数 $a_{nm}(1)$ 、 $a_{nm}(2)$ 、 $a_{nm}(3)$ を有する。従って、最小2乗法で上記3つの係数を求めるためには、撮影回数 $K$ を3  
5 以上にする必要がある。一般に、上記多項式関数の最大次数 $L$ に対して、撮影回数 $K$ は $L$ 以上とする必要がある。以上の処理により多項式の係数 $a_{nm}(L)$ 、 $a_{nm}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nm}(1)$ の値を導出して、補正テーブルとする。

上記補正テーブルを作成するために、補正テーブル作成手段102  
10 はまず、実測画像用メモリ101およびシミュレーション画像用メモリ103からそれぞれ実測画像 $J_{nm}(k)$ およびシミュレーション画像 $J'_{nm}(k)$ を全ての $k=1\sim K$ に対して読み出して、バッファメモリ400に書きこむ。次に最小2乗近似手段401がバッファメモリ400に記録されたデータを読み出して数6による多項式近似を行い、得ら  
15 れた係数 $a_{nm}(L)$ 、 $a_{nm}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nm}(1)$ を補正テーブル用メモリ105に記録する。上記一連の処理は、全ての各検出画素 $(n, m)$  ( $n=1\sim N$ 、 $m=1\sim M$ ) に対して繰り返し行われる。なお、最小2乗近似手段401は、専用演算器や汎用演算器を用いたソフトウェア処理等で実現される。

20 図6は、本発明の実施例1に係る放射線断層撮影装置の信号強度補正手段104を説明するための図である。本撮影モードにおいて取得された被写体3の撮影画像は、前処理手段111によって上述のエアキャリブレーション処理が行われた後に実測画像用メモリ101に記録される。上記エアキャリブレーション処理はX線検出器2から撮  
25 影画像が取得される度に行われ、 $k$ フレーム目 ( $k=1\sim K$ ) の撮影画像に対して得られたエアキャリブレーション処理後の撮影データ

$J_{nm}(k)$  ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ ) が順次実測画像用メモリ 101 に書き込まれる。上記書き込みが終了する度に、多項式演算手段 601 は補正テーブル用メモリ 105 から検出画素 ( $n$ 、 $m$ ) に対する多項式の係数  $a_{nm}(L)$ 、 $a_{nm}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nm}(1)$  の値を読み出してバッファメモリ 602 に記録する。また、多項式演算手段 601 はエアキャリブレーション処理後の撮影データ  $J_{nm}(k)$ 、および多項式の係数  $a_{nm}(L)$ 、 $a_{nm}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nm}(1)$  をそれぞれ実測画像用メモリ 101 およびバッファメモリ 602 から読み出して、数 6 を用いて  $f_{nm}(J_{nm}(k))$  を計算して信号強度の補正を行う。上記信号強度の補正は全ての各検出画素 ( $n$ 、 $m$ ) ( $n = 1 \sim N$ 、 $m = 1 \sim M$ ) に対して繰り返し行われ、その結果は画像再構成手段 107 に入力される。なお多項式演算手段 601 は、専用演算器や汎用演算器を用いたソフトウェア処理等で実現される。

図 7 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置のシミュレーション画像発生手段 106 における演算方法を説明するための図である。特に、図 7 では校正用ファントムとして楕円ファントム 700 を使用した場合のシミュレーション画像発生方法について説明する。既に説明したように、図 7 (A) に示す直交座標系  $XYZ$  は、ガントリー 7 に固定された静止座標系である。X 線発生点  $S$  は、 $XY$  平面上を回転移動し、その回転中心は  $XYZ$  座標系の原点  $O$  と一致する。 $XY$  平面は、X 線検出器 2 と交線 702 で交わる。楕円ファントム 700 は、楕円柱型の形状を有し、その柱方向が  $Z$  軸と略一致するように配置される。楕円ファントム 700 は、略均一な材質および密度で構成される。楕円ファントム 700 の材質の代表例はポリエチレンであるが、アクリル等の他の物質でこれを代用してもよい。以下では、楕円ファントム 700 の長軸方向、短軸方向、および柱方向の外形サイ

ズをそれぞれ  $2a$ 、 $2b$ 、 $H$ と表す。 $2a$ 、 $2b$ 、 $H$ の代表例は、それぞれ  $350\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $300\text{ mm}$ である。楕円ファントム  $700$ と  $XY$ 平面の交線  $701$ は、楕円形の形状を有する。

図7(B)に示すように、 $pq$ 座標系は、楕円ファントム  $700$ に  
 5 固定された座標系であり、その原点を交線  $701$ で表される楕円の中心  $O'$ とする。また、 $p$ 軸および  $q$ 軸を上記交線  $701$ で表される略楕円形の長軸および短軸方向とする。楕円ファントム  $700$ は、楕円中心点  $O'$ が  $XYZ$ 座標形の原点  $O$ 付近に位置すると同時に、 $p$ 軸が  
 10  $X$ 軸と略一致するように配置される。ただし、一般に上記配置を精度よく行うことは困難であるため、楕円中心点  $O'$ の  $XY$ 平面上における位置 ( $O'_x$ 、 $O'_y$ ) は完全に  $(0, 0)$ とはならない。また、 $p$ 軸と  $X$ 軸のなす角  $\phi$ も完全に  $0$ とはならない。楕円ファントム  $700$ の位置を規定する上記パラメータ ( $O'_x$ 、 $O'_y$ ) および  $\phi$ の値は、較正用ファントム位置検出手段  $108$ によって、後述する方法で自動検出  
 15 される。

シミュレーション画像発生手段  $106$ は、 $k$ フレーム目 ( $k=1\sim K$ )の撮影画像に対して得られたエアキャリブレーション処理後の撮影データ  $J_{nm}(k)$  ( $n=1\sim N$ 、 $m=1\sim M$ ) に対し、その理論値  $J'_{nm}(k)$ を計算する。上記理論値  $J'_{nm}(k)$ は、(数7)で表される。

$$J'_{nm}(k) = \mu_p w_{nm}(k) \quad (n=1\sim N, m=1\sim M) \quad \dots\dots\dots \text{(数7)}$$

20

ただし、 $w_{nm}(k)$ は、 $k$ フレーム目の撮影において  $X$ 線発生点  $S$ から放射されて  $X$ 線検出器  $2$ の検出画素位置 ( $n$ 、 $m$ )に入射する  $X$ 線ビーム  $703$ の、楕円ファントム  $700$ 中の通過距離とする。また、 $\mu_p$ は楕円ファントム  $700$ の  $X$ 線吸収係数とする。いま  $X$ 線ビーム  $703$ のチャンネル方向の放射角度を  $\gamma$ 、交線  $702$ と検出画素位置 ( $n$ 、  
 25

m)との距離を  $h_{nm}$ 、X線発生点Sと回転中心Oとの間の距離を  $d$ 、X線発生点SとX線検出器2の入力面との間の距離を  $D$ と表すと、通過距離  $w_{nm}(k)$ は、(数8)で得られる。

$$w_{nm}(k) = \frac{2ab\sqrt{b^2t_p^2 + a^2t_q^2 - (t_pS_q - t_qS_p)^2}}{b^2t_p^2 + a^2t_q^2} \quad (n=1\sim N, m=1\sim M) \quad \dots (数8)$$

- 5   ただし、(数8)において、 $S_p$ 、 $S_q$ は  $p$   $q$  座標系上におけるX線発生点Sの位置であり、それぞれ(数9)および(数10)で表される。

$$S_p = (d \cos \theta_k - O'_x) \cos \phi + (d \sin \theta_k - O'_y) \sin \phi \quad \dots (数9)$$

$$S_q = -(d \cos \theta_k - O'_x) \sin \phi + (d \sin \theta_k - O'_y) \cos \phi \quad \dots (数10)$$

- また、(数8)において、 $t_p$ 、 $t_q$ は、X線ビーム703の単位方向ベクトルの  $p$  軸、 $q$  軸成分であり、それぞれ(数11)および(数12)で表される。

$$t_p = \frac{-D}{\sqrt{D^2 + h_{nm}^2}} \cos(\phi + \gamma - \theta_k) \quad \dots (数11)$$

$$t_q = \frac{D}{\sqrt{D^2 + h_{nm}^2}} \sin(\phi + \gamma - \theta_k) \quad \dots (数12)$$

- なお、(数9)～(数12)において、 $\theta_k$ は  $k$  フレーム目の撮影時におけるX線発生点SのX軸に対する回転角度を表し、(数13)で示される。

$$\theta_k = 2\pi \frac{k-1}{K} \quad (k=1\sim K) \quad \dots (数13)$$

シミュレーション画像発生手段106は、(数7)～(数13)を用いて、撮影画像の理論値  $J'_{nm}(k)$ を全ての  $n=1\sim N$ 、 $m=1\sim M$ 、 $k$

= 1 ~ Kについて計算し、計算結果をシミュレーション画像用メモリ 103 に記録する。なお、シミュレーション画像発生手段106は、専用演算器や汎用演算器を用いたソフトウェア処理等で実現される。

図8は、本発明の実施例1に係る放射線断層撮影装置の校正用ファントム位置検出手段108を説明するための図である。既に説明したように、楕円ファントム700は、その中心位置O'がXY平面の中心Oにほぼ一致するように配置される。ただし、両者を高精度に一致させる必要はなく、両者のずれが、例えば数cm以内に収まっていればよいものとする。このような荒い配置精度を許容することで、校正用ファントムの配置における作業工数を削減できる。校正用ファントム位置検出手段108は、上記配置における楕円ファントム700の位置ずれ量を自動検出する。上記位置ずれ量は、楕円ファントム700の中心位置O'、および楕円ファントム700の長軸方向（p軸方向）のX軸に対する傾き角度 $\phi$ によって規定される。検出されたO'、 $\phi$ の値は、シミュレーション画像発生手段106によって参照される。

CT値2値化手段800は、まず楕円ファントム700のCT再構成画像を画像再構成手段107より読み込む。以下では上記CT再構成画像の信号値を $R(i, j)$ と表す。ただし、 $i, j$  ( $i=1 \sim I, j=1 \sim J$ ) はそれぞれ再構成画像のX軸方向およびY軸方向のピクセル位置を表す。CT値2値化手段800は、次に閾値用メモリ803に予め記録された閾値 $R_t$ を参照し、 $R_t$ と $R(i, j)$ の値を比較する。このとき、もし $R_t \leq R(i, j)$ であれば $R(i, j)$ の信号値を1に書き換える。また、 $R(i, j) < R_t$ であれば $R(i, j)$ の信号値を0に書き換える。なお閾値 $R_t$ の値は、楕円ファントム内部領域のCT値と外部領域のCT値との中間の値が予め設定される。このため、CT値2値化手段800によって2値化されたCT再構成画像は、楕

円ファントム内部領域および外部領域においてそれぞれ信号値 1 および 0 をとる。上記 2 値化された CT 再構成画像は、重心計算手段 801 および傾き計算手段 802 によってそれぞれ読み出される。重心計算手段 801 は、楕円ファントム 700 の重心位置を計算する手段である。上記重心位置は楕円ファントム 700 の中心位置 O' と一致し、(数 14) によって計算される。

$$O' = (O'_x, O'_y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R(i, j) X_i}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R(i, j)}, \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R(i, j) Y_i}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J R(i, j)} \right) \quad \text{..... (数 14)}$$

ただし、 $X_i$ 、 $Y_i$  を、それぞれピクセル (i, j) の XY 座標系における位置とする。傾き計算手段 802 は楕円ファントム 700 の長軸方向の X 軸に対する傾き角度  $\phi$  を求める手段である。傾き計算手段 802 は  $R(i, j) = 1$  を満たすピクセル位置 ( $X_i$ 、 $Y_i$ ) に対して、(数 15) による 1 次近時を行う。

$$Y = AX + B \quad \text{..... (数 15)}$$

このとき、上記傾き角度  $\phi$  は、(数 16) で計算できる。

$$\phi = \tan^{-1} A \quad \text{..... (数 16)}$$

なお、上記 1 次近時には最小 2 乗法等の公知の技術が使用される。また較正用ファントム位置検出手段 108 は、専用演算器や汎用演算器を用いたソフトウェア処理等で実現される。

図 13 は、本発明の実施例 1 に係る放射線断層撮影装置による画質改善効果の例を説明するための図である。特に、図 13 (A) は評価用被写体 1300 の配置方法を示している。また、図 13 (B) およ

び(C)は、それぞれキャリブレーション処理無しおよび有りの場合に取得された再構成画像のY軸上のプロファイルを示している。評価用被写体1300は直径350mmの円柱状の水ファントムである。撮影時には、X線管1の管電圧を120kV、管電流を200mAとし、その他の撮影条件は、本実施例1で説明したものと同一とした。キャリブレーション処理無しの場合、得られたプロファイル1301の均一性が低く、そのCT値の差は最大59HUであった。これに対して、キャリブレーション処理を行った場合、得られたプロファイル1302の均一性が高く、そのCT値の差は最大4.8HUであった。従って、本発明により再構成画像のCT値の導出精度が向上し、画質が改善されることが確認された。

以上、実施例1に係る放射線断層撮影装置を示したが、本発明は、実施例1のみに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更しうることはいうまでもない。例えば、実施例1においては楕円ファントム700のサイズが1種類に限定されていたが、図9に示すような異なるサイズを有する複数の楕円ファントム700a~dを用いて補正テーブルを作成してもよい。ただし、このとき各楕円ファントム700a~dは、それらの中心位置が例えば撮影系の回転中心O付近に配置されるものとする。また上記全ての楕円ファントム700a~dは、X線検出器2の視野900の内部に完全に包含されるように配置されるものとする。さらに、補正テーブル作成手段102は、上記全ての楕円ファントム700a~dに対して得られた較正用実測画像およびシミュレーション画像に対して(数6)に示される多項式関数近似を行い、得られた係数 $a_{nm}(L)$ 、 $a_{nm}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nm}(1)$ を補正テーブル用メモリ105に記録するものとする。

(実施例2)



以下では、本発明の実施例 2 に係る放射線断層撮影装置について説明する。本発明の実施例 2 に係る放射線断層撮影装置は、較正用ファントムとして実施例 1 で使用した楕円ファントム 7 0 0 の代わりに円筒ファントム 1 0 0 0 を使用する。本放射線断層撮影装置の上記  
5 以外の構成に関しては、実施例 1 の図 1 ～ 6 で説明したものと同一であるため、説明を省略する。

図 1 0 は、本発明の実施例 2 に係る放射線断層撮影装置のシミュレーション画像発生手段 1 0 6 における演算方法を説明するための図である。特に、図 1 0 では較正用ファントムとして円筒ファントム 1  
10 0 0 0 を使用した場合のシミュレーション画像発生方法について説明する。既に説明したように、直交座標系  $XYZ$  はガントリー 7 に固定された静止座標系である。 $X$  線発生点  $S$  は  $XY$  平面上を回転移動し、その回転中心は  $XYZ$  座標系の原点  $O$  と一致する。 $XY$  平面は  $X$  線検出器 2 と交線 1 0 0 2 で交わる。円筒ファントム 1 0 0 0 は円柱型の  
15 形状を有し、その柱方向が  $Z$  軸と略一致するように配置される。円筒ファントム 1 0 0 0 は、略均一な材質および密度で構成される。円筒ファントム 1 0 0 0 の材質の代表例はポリエチレンであるが、アクリル等の他の物質でこれを代用してもよい。以下では、円筒ファントム 1 0 0 0 の円方向、および柱方向の外形サイズをそれぞれ  $2r$ 、 $H$  と  
20 表す。 $2r$ 、 $H$  の代表例はそれぞれ 250 mm、300 mm である。

円筒ファントム 1 0 0 0 と  $XY$  平面の交線 1 0 0 1 は、略円形の形状を有し、その円の中心を  $O'$  とする。円筒ファントム 1 0 0 0 は、略円形の中心点  $O'$  が、回転軸すなわち  $XYZ$  座標形の原点  $O$  とは異なる位置 ( $O'_x$ 、 $O'_y$ ) に配置される。

25 円筒ファントム 1 0 0 0 の位置を規定する上記パラメータ ( $O'_x$ 、 $O'_y$ ) の値は、較正用ファントム位置検出手段 1 0 8 によって自動検

出される。較正用ファントム位置検出手段 108 による上記中心点 O' の自動検出は、図 8 を用いて説明した方法と同一の方法で実現できる。ただし、円筒ファントム 1000 を対象とした場合、楕円ファントム 700 の場合のように傾き角度  $\phi$  を検出する必要がない。従って、

5 傾き計算手段 802 による演算は省略され、重心計算手段 801 によって検出された中心点 O' の位置のみがシミュレーション画像発生手段 106 によって参照される。

シミュレーション画像発生手段 106 は、k フレーム目 ( $k = 1 \sim K$ ) の撮影画像に対して得られたエアキャリブレーション処理後の撮影データ  $J_{nm}(k)$  ( $n = 1 \sim N, m = 1 \sim M$ ) に対し、その理論値  $J'_{nm}(k)$  を計算する。上記理論値  $J'_{nm}(k)$  は、(数 17) で表される。

10

$$J'_{nm}(k) = \mu_q w_{nm}(k) \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M) \quad \dots\dots\dots \text{(数 17)}$$

ただし、 $w_{nm}(k)$  は、k フレーム目の撮影において X 線発生点 S から放射されて X 線検出器 2 の検出画素位置 ( $n, m$ ) に入射する X 線ビーム 1003 の、円筒ファントム 1000 中の通過距離とする。また、 $\mu_q$  は円筒ファントム 1000 の X 線吸収係数とする。いま X 線ビーム 1003 のチャネル方向の放射角度を  $\gamma$ 、交線 1002 と検出画素位置 ( $n, m$ ) との距離を  $h_{nm}$ 、X 線発生点 S と回転中心 O との間の距離を  $d$ 、X 線発生点 S と X 線検出器 2 の入力面との間の距離を  $D$  と

15

20 表すと、通過距離  $w_{nm}(k)$  は、(数 18) で得られる。

$$w_{nm}(k) = \frac{2\sqrt{(t_x^2 + t_y^2)r^2 - (t_x S'_y - t_y S'_x)}}{t_x^2 + t_y^2} \quad (n=1 \sim N, m=1 \sim M) \quad \dots\dots \text{(数 18)}$$

ただし、(数 18) において、 $S'_x$ 、 $S'_y$  はそれぞれ (数 19) および (数 20) で表される。

$$S'_x = d \cos \theta_k - O'_x \quad \dots\dots\dots (\text{数 } 19)$$

$$S'_y = d \sin \theta_k - O'_y \quad \dots\dots\dots (\text{数 } 20)$$

また、(数 18)において、 $t_x$ 、 $t_y$ はX線ビーム1003の単位方向ベクトルのX軸、Y軸成分であり、それぞれ(数 21)および(数 22)で表される。

$$t_x = \frac{-D}{\sqrt{D^2 + h_{nm}^2}} \cos(\gamma - \theta_k) \quad \dots\dots\dots (\text{数 } 21)$$

$$t_y = \frac{D}{\sqrt{D^2 + h_{nm}^2}} \sin(\gamma - \theta_k) \quad \dots\dots\dots (\text{数 } 22)$$

なお、(数 19)～(数 22)において、 $\theta_k$ はkフレーム目の撮影時におけるX線発生点SのX軸に対する回転角度を表し、(数 13)で示される。シミュレーション画像発生手段106は(数 17)～(数 22)を用いて、撮影画像の理論値 $J'_{nm}(k)$ を全ての $n=1 \sim N$ 、 $m=1 \sim M$ 、 $k=1 \sim K$ について計算し、計算結果をシミュレーション画像用メモリ103に記録する。なお、シミュレーション画像発生手段106は、専用演算器や汎用演算器を用いたソフトウェア処理等で実現される。

以上、実施例2に係る放射線断層撮影装置を示したが、本発明は、実施例2のみに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更しうることはいうまでもない。例えば、実施例2においては、円筒ファントム1000のサイズが1種類に限定されていたが、図11に示すような異なるサイズを有する複数の円筒ファントム1000a～dを用いて補正テーブルを作成してもよい。ただし、このとき各円筒ファントム1000a～dは、それらの外周位置が

、例えばX線検出器2の視野900に略内接するように配置されるものとする。ただし上記全ての円筒ファントム1000a～dは、X線検出器2の視野900の内部に完全に包含されるように配置されるものとする。また、補正テーブル作成手段102は、上記全ての円筒  
5 ファントム1000a～dに対して得られた較正用実測画像およびシミュレーション画像に対して(数6)に示される多項式関数近似を行い、得られた係数 $a_{nn}(L)$ 、 $a_{nn}(L-1)$ 、 $\dots$ 、 $a_{nn}(1)$ を補正テーブル用メモリ105に記録するものとする。

以上詳述した実施例1および2においては、それぞれ較正用ファントムとして楕円ファントム700および円筒ファントム1000を  
10 使用したが、較正用ファントムの種類はこれだけに限定されるものではない。例えば、較正用ファントムとして、図12(A)に示されるような人体の腹部を模擬した腹部用ファントム1200や、図12(B)に示されるような人体の胸部を模擬した胸部用ファントム12  
15 01を使用してもよい。ただし、胸部用ファントム1201には、人体中の肺野を模擬するためのホール1202および1203が設けられている。較正用ファントムの形状を撮影対象である被写体3の形状に近づけることで、較正用ファントムの撮影において発生する散乱X線量が被写体3の撮影において発生する散乱X線量に近づくため、信号  
20 強度補正手段104による補正精度を向上できる。

また、実施例1および2においては、それぞれ1種類の形状のみを有する較正用ファントムを使用した。それらのファントムの併用により取得した較正用実測画像およびシミュレーション画像を用いて補正テーブル105を作成しても良い。

25 また、実施例1および／または実施例2における較正用ファントムと組み合わせて、その他の形状および／またはサイズの異なる種々の

較正用ファントム（回転軸に垂直な断面が略円形で、回転軸と略同じ位置に配置されたファントムを含む）に対して取得した較正用実測画像およびシミュレーション画像を用いて補正テーブル 105 を作成しても良い。

- 5      以上説明したように、本発明によれば、ファントムキャリブレーション法において簡便な計測に基づいて較正用ファントムの実測データのサンプルを多数取得するための放射線断層撮影技術を実現するもので、これにより、ファントムキャリブレーション法における多項式近似の精度を向上し、再構成画像の画質を向上できる。

10

産業上の利用可能性

本発明によれば、放射線断層撮影装置において、再構成画像中に発生するアーチファクトを高い精度で低減し、再構成画像の画質を向上が実現できる。

15

20

25

## 請 求 の 範 囲

1. 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に  
対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段  
とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転  
5 手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複  
数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写  
体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の回  
転軸に垂直な断面が前記回転軸に直交する2方向でそれぞれ異なる  
サイズを有する少なくとも一つのファントムを含む複数のファント  
ム  
10 ムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影し  
た3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透  
過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段  
と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実測  
画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度  
15 を補正する補正手段とを有することを特徴とする放射線断層撮影装  
置。

2. 請求項1に記載の放射線断層撮影装置において、前記少なくとも  
一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略楕円形であること  
を特徴とする放射線断層撮影装置。

20 3. 請求項1又は2に記載の放射線断層撮影装置において、前記複数の  
ファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に  
垂直な断面が略円形であり、かつ、前記円形の中心が前記回転軸と異  
なる位置に配置されていることを特徴とする放射線断層撮影装置。

4. 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に  
25 対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段  
とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転

手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と異なる位置に配置されている少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、  
10 前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする放射線断層撮影装置。

5. 請求項4に記載の放射線断層撮影装置において、前記複数のファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略楕円形であることを特徴とする放射線断層撮影装置。  
15

6. 請求項4に記載の放射線断層撮影装置において、前記複数のファントムのうち、少なくとも一つのファントムは、前記回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と略同じ位置に配置されていることを特徴とする放射線断層撮影装置。

20 7. 請求項1又は4に記載の放射線断層撮影装置において、前記実測画像より再構成された前記ファントムの断層像に基づいて、前記ファントムの断層面の中心位置と前記断層面に平行な方向での傾きを算出するファントム位置算出手段を有し、前記生成手段は、前記中心位置と前記傾きに基づいて、前記計算画像を作成する時の前記放射線の  
25 投影方向を決定することを特徴とする放射線断層撮影装置。

8. 請求項7に記載の放射線断層撮影装置において、前記ファントム

位置算出手段は、前記ファントムの前記断層像の信号強度分布の重心位置に基づいて、前記ファントムの断層面の中心位置を算出することを特徴とする放射線断層撮影装置。

9. 請求項7に記載の放射線断層撮影装置において、前記ファントム  
5 位置算出手段は、前記ファントムの断層像の信号強度分布の1次近似に基づいて、前記ファントムの断層面に平行な方向での傾きを算出することを特徴とする放射線断層撮影装置。

10. 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段  
10 に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の  
15 回転軸に垂直な断面が前記回転軸に直交する2方向でそれぞれ異なるサイズを有する少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実  
20 測画像の信号強度と前記計算画像の信号強度との関係を近似関数で近似して、前記近似関数のパラメータ値を導出するパラメータ値導出手段と、前記パラメータ値を格納する第3の格納手段と、前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする放射線断層撮影装置。

25 11. 被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段  
に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手



段とを含む撮影系と、前記撮影系を前記被写体の周囲に回転させる回転手段とを具備し、前記撮影系を前記被写体の周囲で回転させながら複数の回転角度位置で撮影した複数の前記透過像に基づいて、前記被写体の断層像を生成する放射線断層撮影装置であって、前記撮影系の

5 回転軸に垂直な断面が略円形であり、前記円形の中心が前記回転軸と異なる位置に配置されている少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に前記撮影系を回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成

10 する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実測画像の信号強度と前記計算画像の信号強度との関係を近似関数で近似して、前記近似関数のパラメータ値を導出するパラメータ値導出手段と、前記パラメータ値を格納する第3の格納手段と、前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像

15 の強度を補正する補正手段とを有することを特徴とする放射線断層撮影装置。

1 / 13

図 1

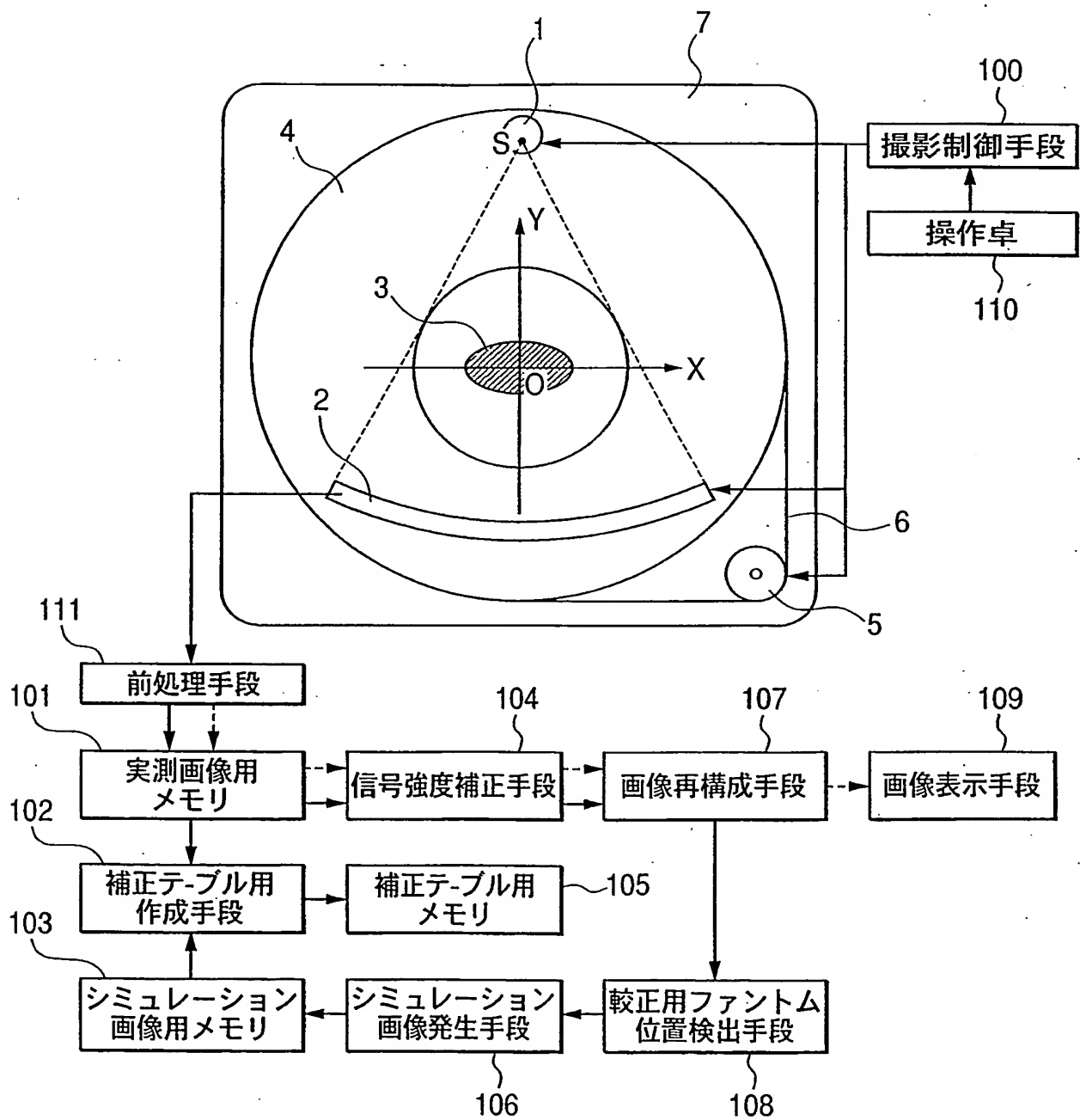
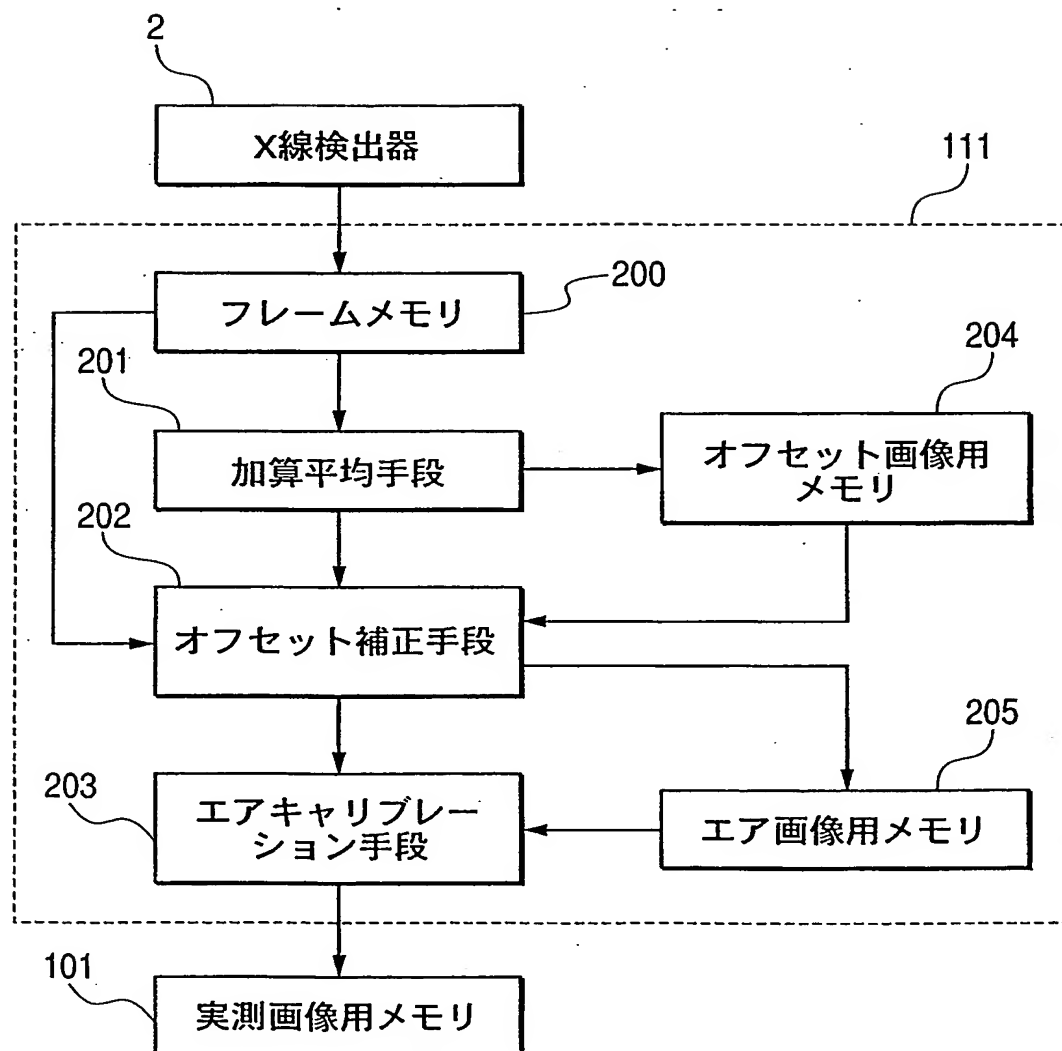


図 2



## 図 3

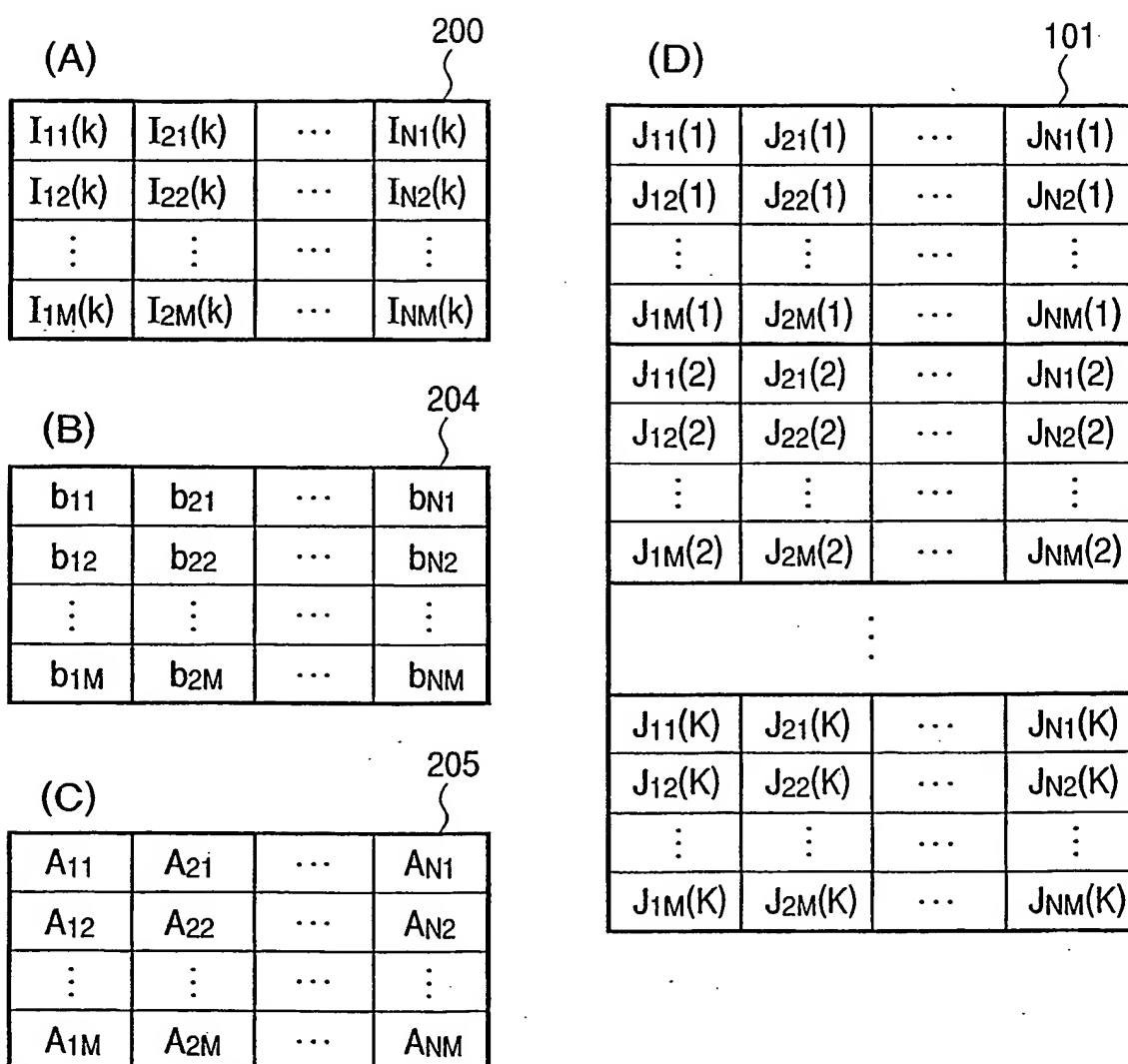


図 4

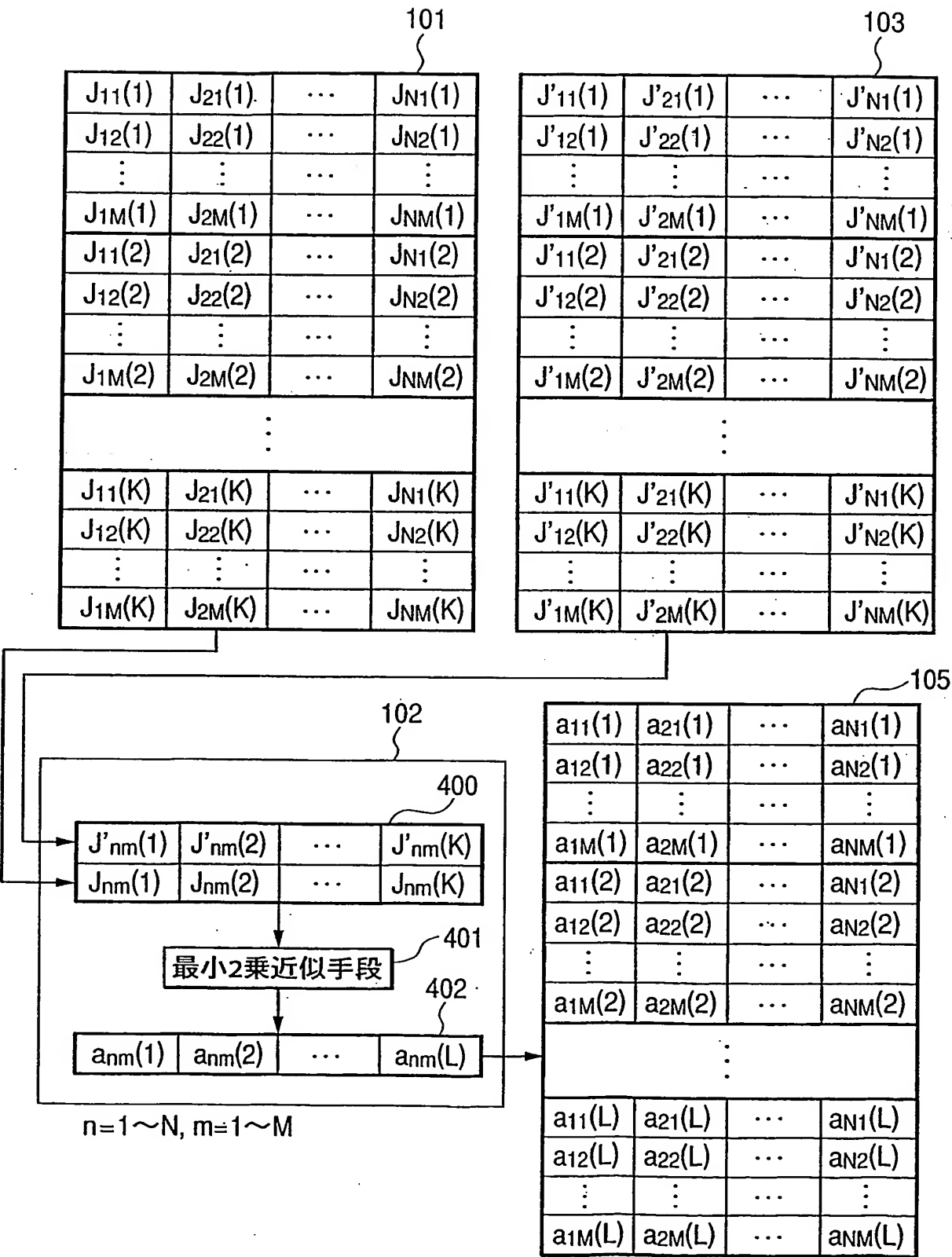


図 5

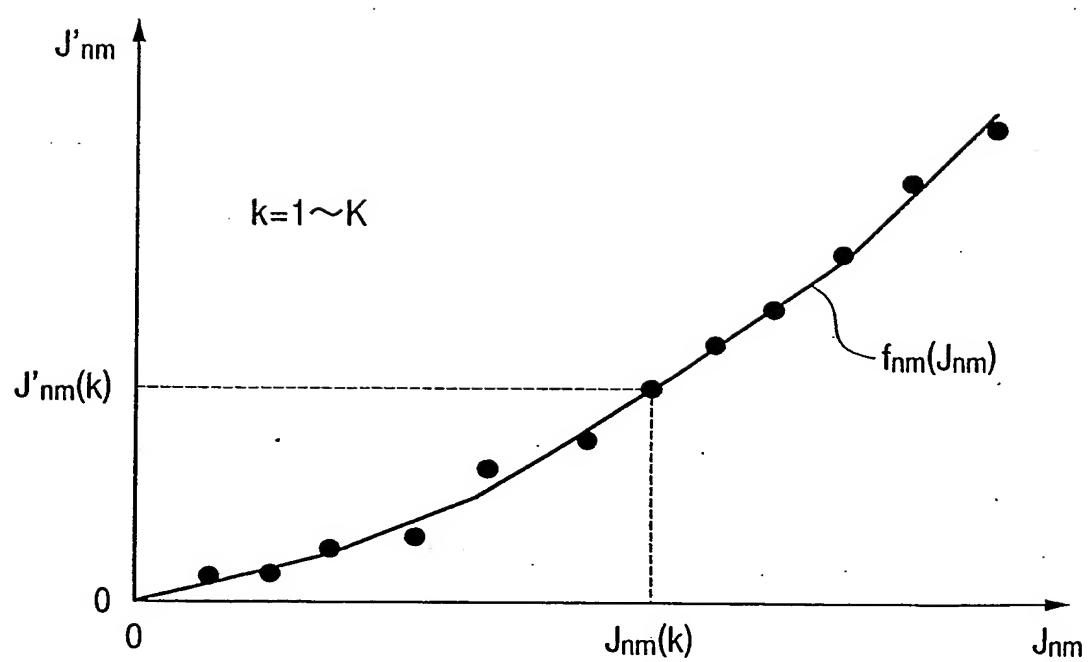


図 6

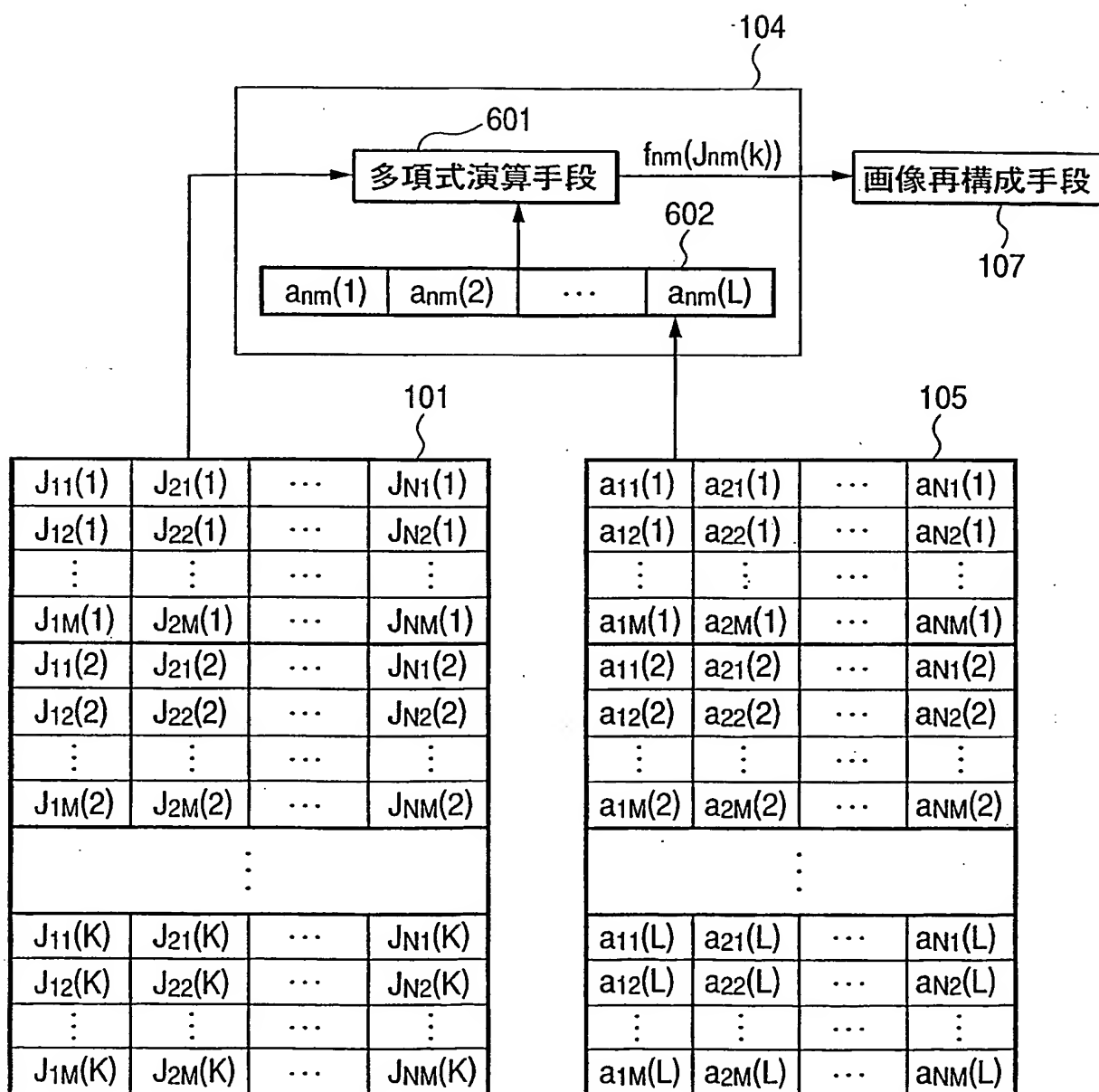


図 7

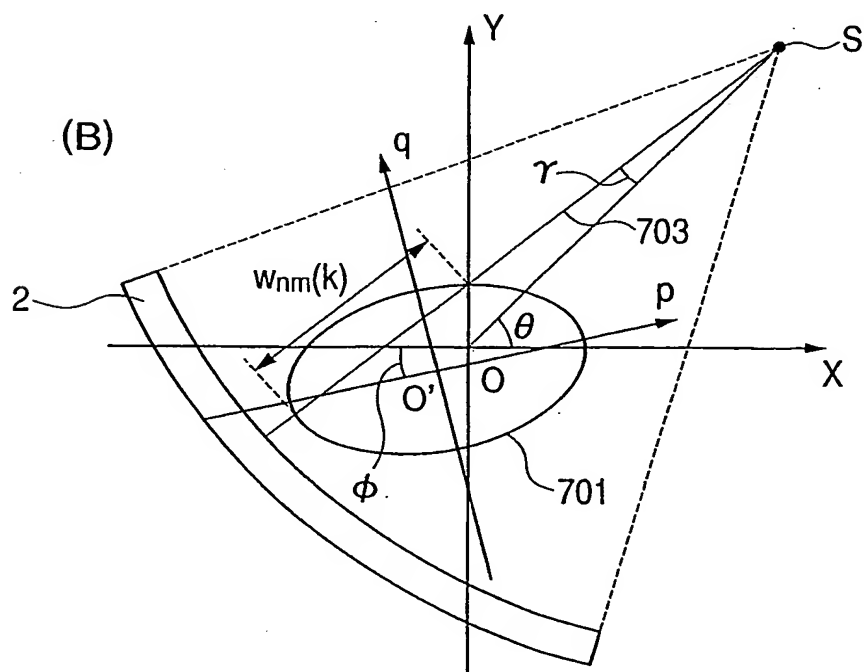
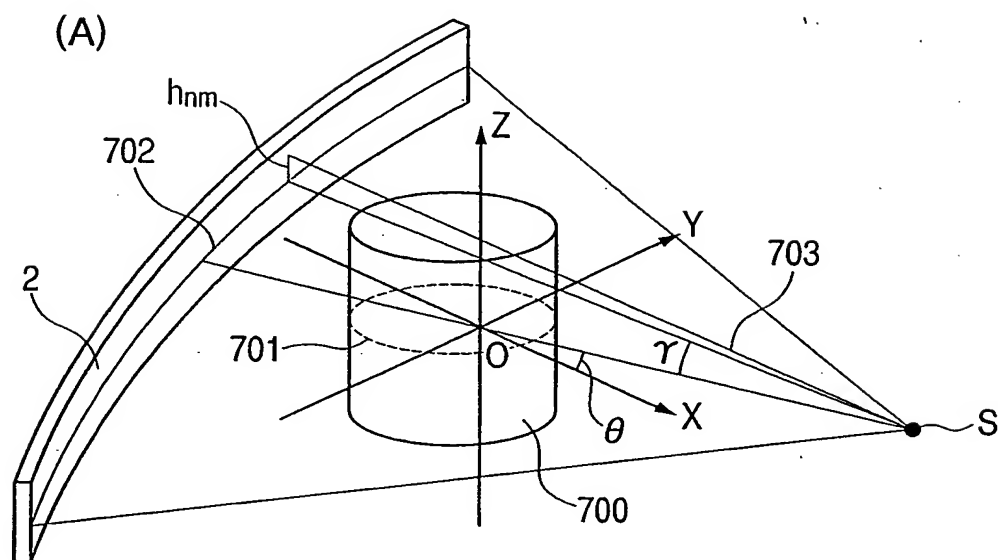




図 8

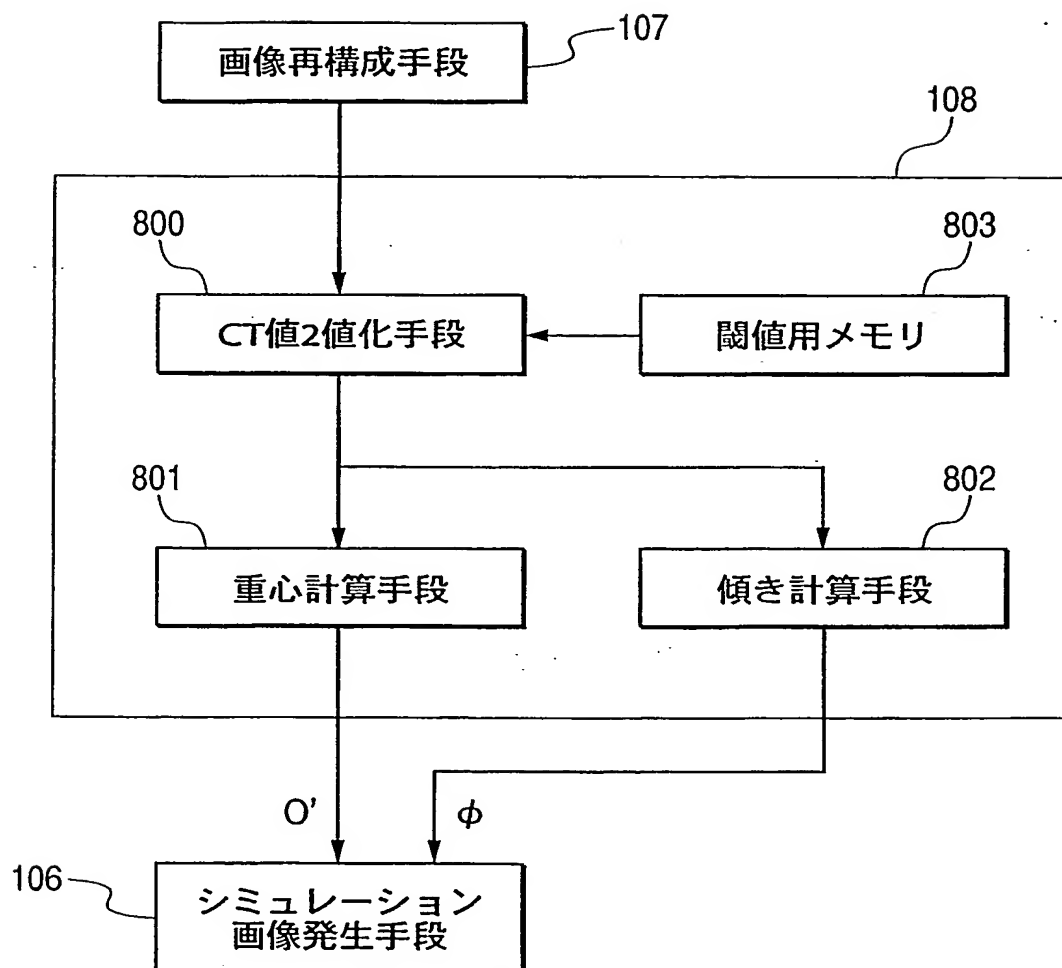


図 9

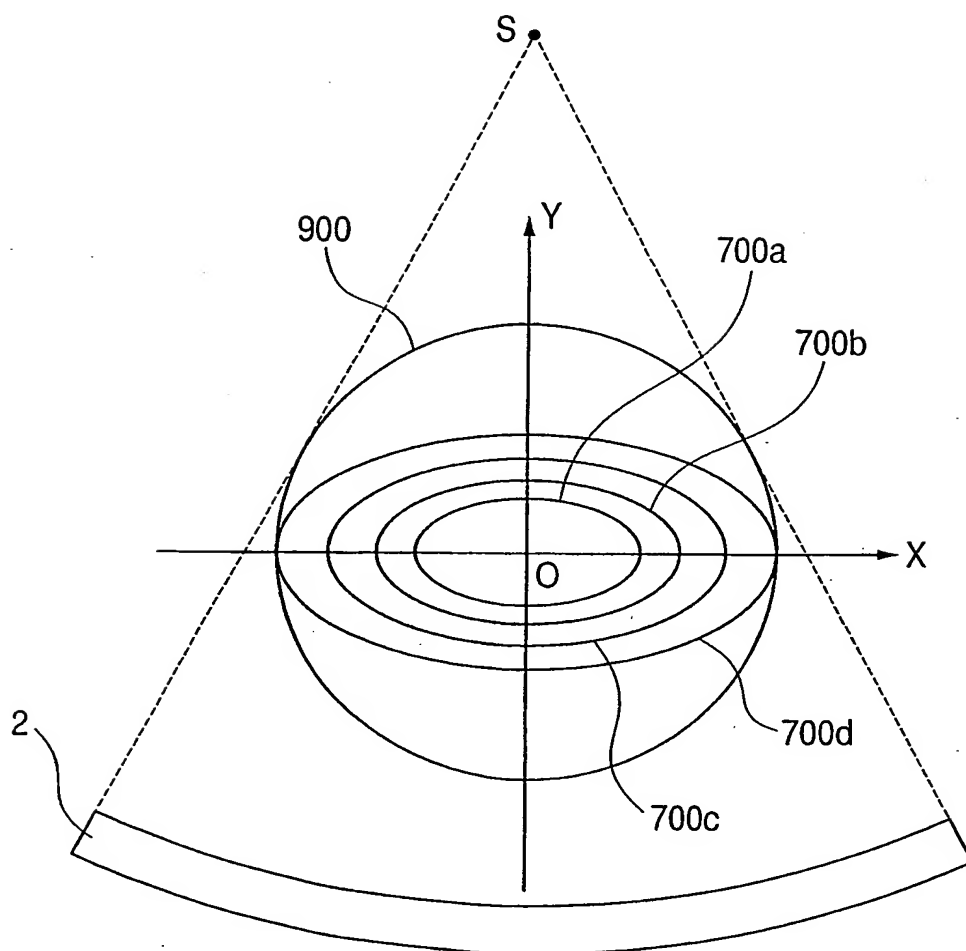
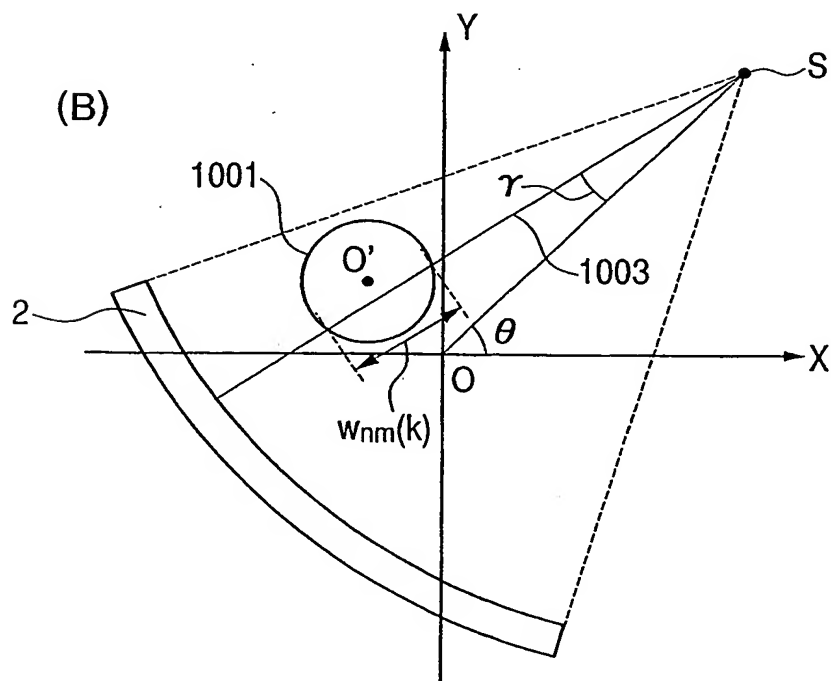
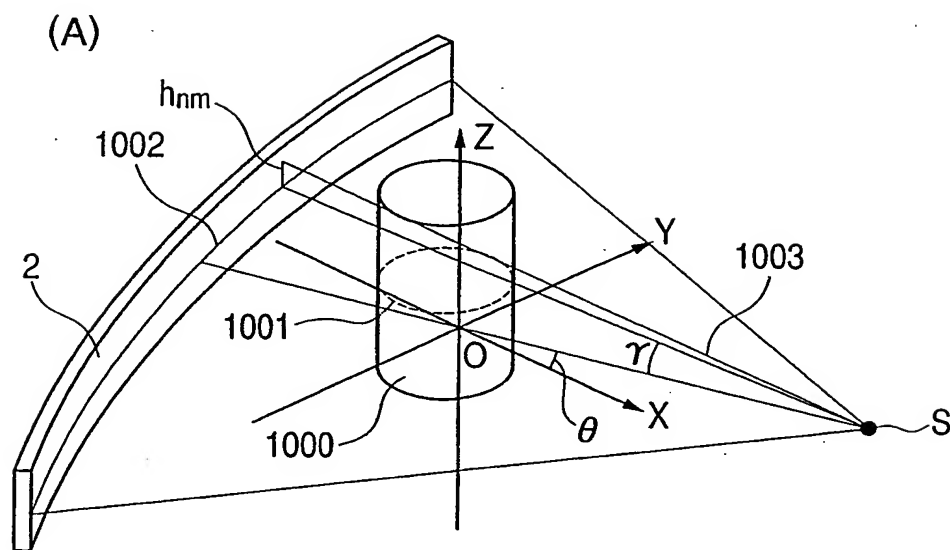
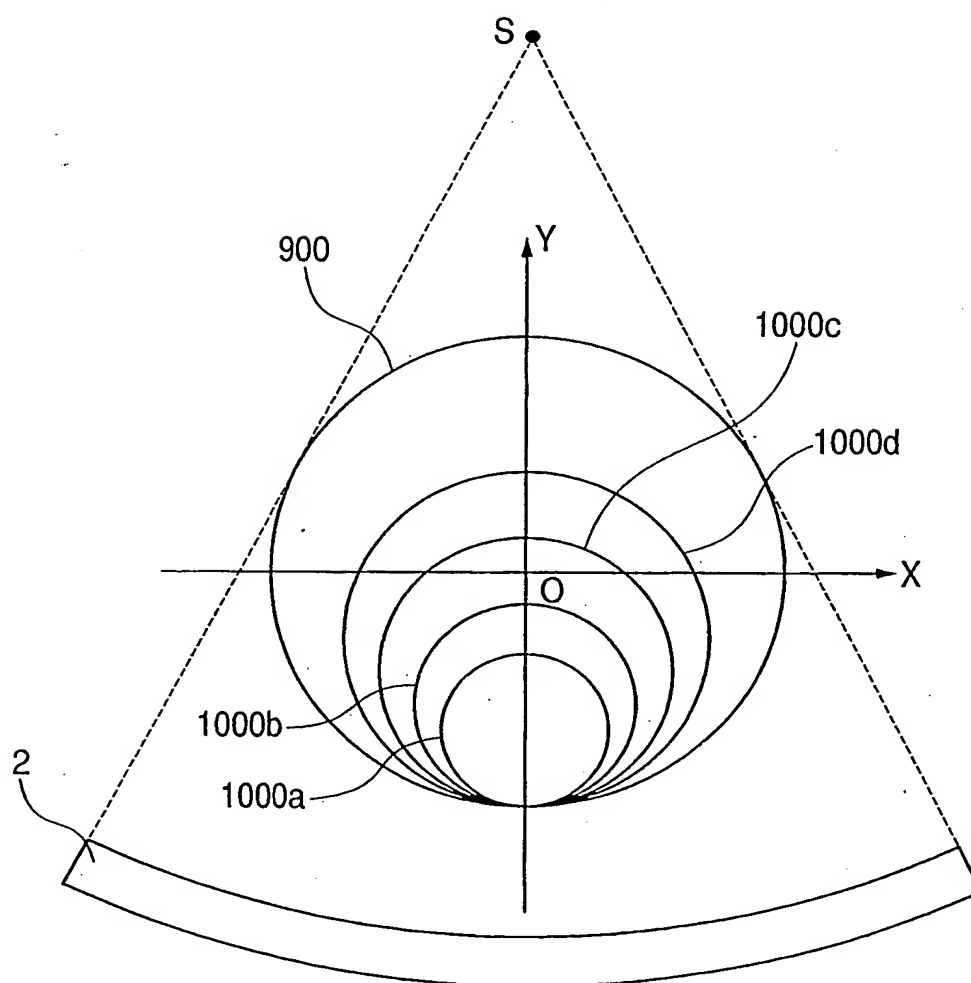


図 10



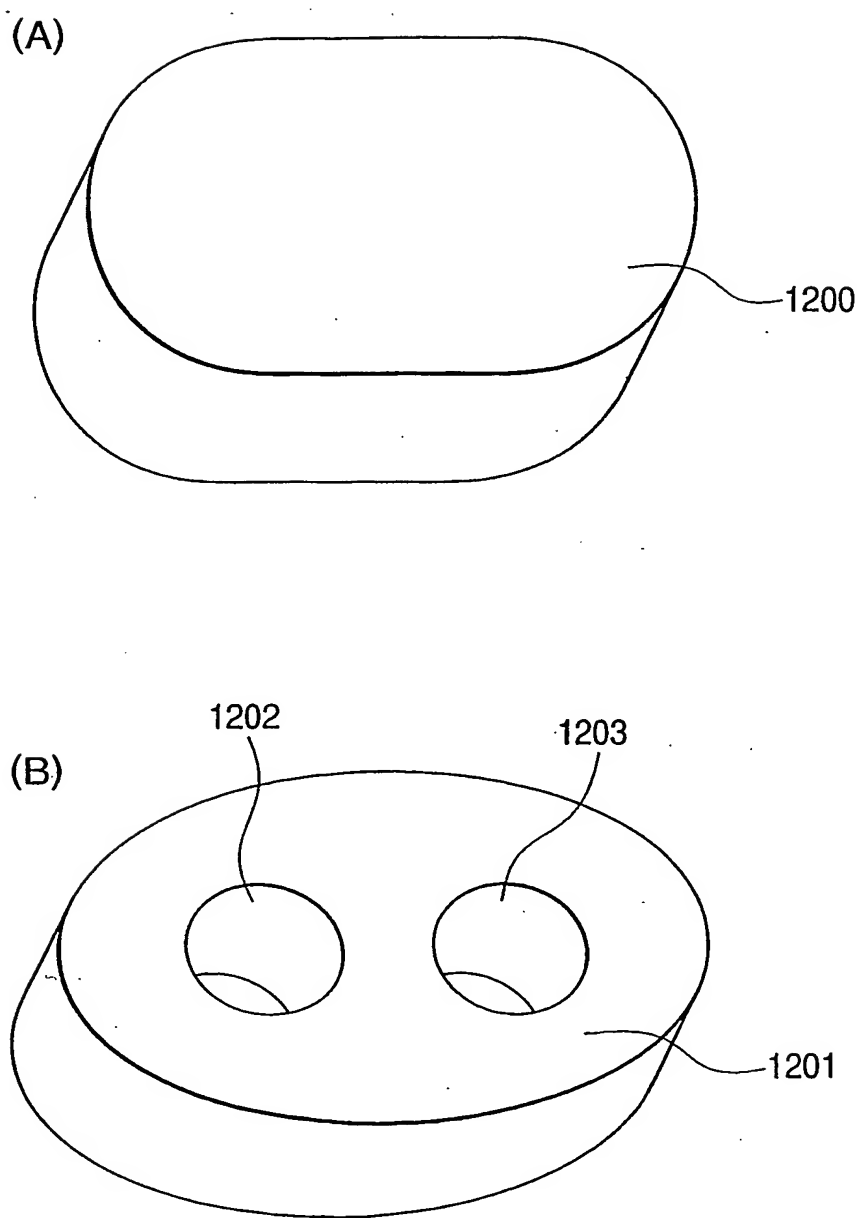
11 / 13

図 11



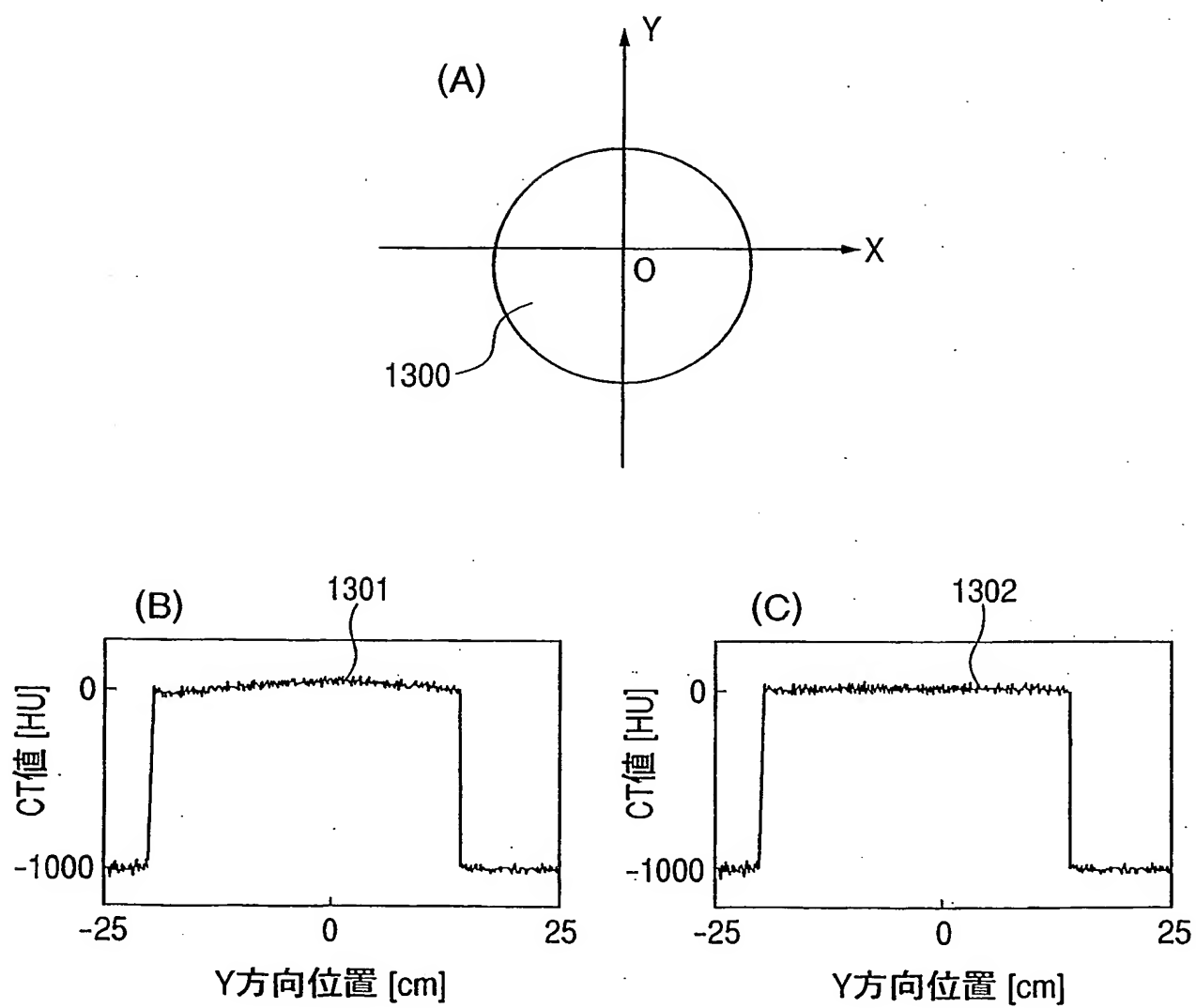
12 / 13

図 12



13 / 13

図 13



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008379

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> A61B6/03

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> A61B6/00-6/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2-31744 A (General Electric CGR S.A.), 01 February, 1990 (01.02.90), Full text; Figs. 1 to 5	4, 6, 11
Y	Full text; Figs. 1 to 5 & EP 346181 A1 & FR 2632749 A & US 5214578 A	1-3, 5, 7-10
Y	JP 1-316682 A (General Electric CGR S.A.), 21 December, 1989 (21.12.89), Full text; Figs. 1 to 6 & EP 334762 A1 & FR 2629214 A & US 5095431 A	1-3, 5, 7-10
Y	JP 3-210243 A (Hitachi Medical Corp.), 13 September, 1991 (13.09.91), Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-3, 5, 7-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
01 July, 2004 (01.07.04)Date of mailing of the international search report  
20 July, 2004 (20.07.04)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/008379

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 61-54412 B2 (Hitachi Medical Corp.), 21 November, 1986 (21.11.86), Full text; Figs. 1 to 21 & GB 2046052 A & US 4352020 A	1-3, 5, 7-10
A	JP 3-45 A (Toshiba Corp.), 07 January, 1991 (07.01.91), Full text; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-11
A	JP 5-130987 A (Yokokawa Medical System Kabushiki Kaisha), 28 May, 1993 (28.05.93), Full text; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1-11
A	JP 7-171145 A (Toshiba Corp.), 11 July, 1995 (11.07.95), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-11



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> A61B6/03

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> A61B6/00-6/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

A

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 2-31744 A (パレゾーリュアンリプワカレ) 1990.02.01 全文、第1-5図	4, 6, 11
Y	全文、第1-5図 & EP 346181 A1 & FR 2632749 A & US 5214578 A	1-3, 5, 7-10
Y	J P 1-316682 A (パリリュデュセルジャンマジノ) 1989.12.21 全文、第1-6図 & EP 334762 A1 & FR 2629214 A & US 5095431 A	1-3, 5, 7-10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.07.2004

国際調査報告の発送日

20.7.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

安田 明央

2W 9309

電話番号 03-3581-1101 内線 3290

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 3-210243 A (株式会社日立メデイコ) 1991. 09. 13 全文、第1-5図 (ファミリーなし)	1-3, 5, 7-10
Y	JP 61-54412 B2 (株式会社日立メデイコ) 1986. 11. 21 全文、第1-21図 & GB 2046052 A & US 4352020 A	1-3, 5, 7-10
A	JP 3-45 A (株式会社東芝) 1991. 01. 07 全文、第1-2図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 5-130987 A (横川アパレルシステム株式会社) 1993. 05. 28 全文、第1-6図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 7-171145 A (株式会社東芝) 1995. 07. 11 全文、第1-4図 (ファミリーなし)	1-11

## 第IV欄 要約 (第1ページの5の続き)

本発明は、放射線断層撮影装置において、被写体に照射する放射線を発生する発生手段と、前記発生手段に対向配置され前記被写体を透過した前記放射線を検出する検出手段とを含む撮影系を、前記撮影系の回転軸に垂直な断面が前記回転軸に直交する2方向でそれぞれ異なるサイズを有する少なくとも一つのファントムを含む複数のファントムのそれぞれについて、その周囲に回転しながら撮影した3枚以上の透過像の実測画像を格納する第1の格納手段と、前記透過像に対応する画像を計算により計算画像として生成する生成手段と、生成された前記計算画像を格納する第2の格納手段と、前記実測画像および前記計算画像に基づいて、前記被写体の前記透過像の濃度を補正する補正手段とを有することを特徴とする。